

WPLYW STRUKTURY NA WYTRZYMAŁOŚĆ EKSPERYMENTALNIE DEFORMOWANYCH WAPIENI GÓRNEJ JURY REJONU CZĘSTOCHOWY

UKD 624.131.37:551.762.3:624.131.253:624.131.431(438 – 35 Częstochowa – 0)

W dotychczas przeprowadzanych badaniach surowców skalnych zajmowano się oznaczaniem podstawowych własności fizycznych, a wśród nich wytrzymałością na ściskanie. Określano ją zwykle w jednoosiowym stanie naprężenia, w którym zgnieciona próbka dawała jeden wynik wytrzymałości. Dzięki nowym technikom badawczym prowadzonym w kraju przez M. Długosza et al. (2) zachodzi możliwość oceny zmiennej wytrzymałości w trójosiowym stanie naprężenia zależnie od różnych ciśnień. W wyniku tych badań skały nie ulegają kruchemu rozpadowi w wyższych ciśnieniach, lecz poddawane są procesom deformacji ciągłej.

Tego typu badania były już wykonywane przez wielu autorów. Wśród nich zachowanie się eksperymentalnie deformowanych skał węglanowych badał m.in. D. Griggs (4), F.A. Donath et al. (3), R.H. Hugman, M. Friedman (5). W Polsce pierwsze eksperymentalne badania przeprowadził M. Długosz et al. (2) na różnych typach skał. Wśród nich przebadano wapienie jurajskie z Morawicy z podaniem pełnej charakterystyki oceny wytrzymałości na ściskanie w zmiennych warunkach naprężeń. Wapienie te nie wykazywały zróżnicowania strukturalnego.

Celem przeprowadzonych badań była ocena wpływu struktury i tekstury górnourajskich wapieni na charakter deformacji w jednoosiowym stanie naprężenia przy stosowaniu różnych prędkości obciążania oraz w trójosiowym stanie naprężenia przy zmieniającym się ciśnieniu. Stąd badania te przeprowadzono na trzech wapieniach zróżnicowanych pod względem strukturalnym. Są to wapienie mikrytowe średnio zliżyfikowane, ze złoża Latośówka (kam. nr 1), wapienie ziarniste, silnie zliżyfikowane, ze złoża w Jaskrowie (kam. nr 2) i wapienie gruzełkowe z tuberoidami, słabo zliżyfikowane, ze złoża Złota Góra (kam. nr 3). Rozmieszczenie złóż w rejonie Częstochowy zostało przedstawione na schematycznej mapce (ryc. 1). Z każdej odmiany wapieni wycięto po 10 sztuk walcowatych próbek o średnicy 22,5 mm i wysokości 45 mm.

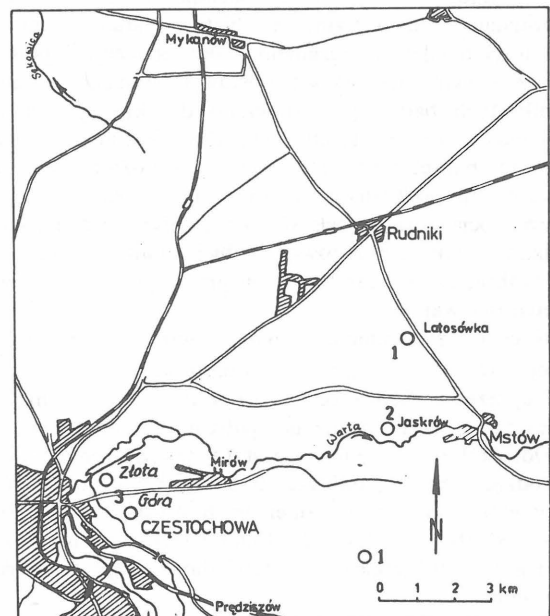
Wyrażam szczególnie serdeczne podziękowanie doc. dr hab. inż. Jerzemu Gustkiewiczowi za umożliwienie realizacji tego tematu oraz za cenne wskazówki i życzliwą pomoc. W części eksperymentalnej tej pracy współdziałał inż. Marek Długosz, któremu za poniesiony trud również należą się podziękowania.

METODYKA BADAWCZA

Eksperymentalne badania wytrzymałościowe polegające na kruchej lub plastycznej deformacji wapieni przeprowadzono odpowiednio w jednoosiowym i trójosiowym stanie naprężeń ściskających. Pozwoliły one wykazać róż-

nice w zachowaniu się skał w obu tych stanach. Badania prowadzono na dwóch rodzajach urządzeń, do których stosowano odpowiednie techniki badawcze.

Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie określano w klasyczny sposób w prasie firmy Instron w szerokim przedziale szybkości obciążania od 0,002 do 2 mm/sec. Wyniki uzyskiwano na rejestratorze w postaci graficznej zależności między przemieszczeniem tłoka prasy a siłą reakcji próbki. Przemieszczenie tłoka pozwoliło określić globalne odkształcenie podłużne próbki, natomiast dzięki sile reakcji próbki i jej przekrojowi określono naprężenie w próbce. Zadawanie szybkości odkształcenia przy odpowiednich urządzeniach sterujących pozwoliło uzyskać wykresy zależności między siłą a przemieszczeniem tłoka. Wykresy te obejmowały nie tylko część wznoszącą się aż do osiągnięcia granicy wytrzymałości, ale również część opadającą po jej przekroczeniu. Otrzymane wyniki pozwoliły określić moduł odkształcenia oraz granicę wytrzymałości wapieni.

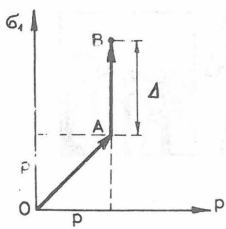


Ryc. 1. Rozmieszczenie wybranych odsłonięć w rejonie Częstochowy.

1 – numer odsłonięcia.

Fig. 1. Location map of the selected outcrops in the Częstochowa area.

1 – number of outcrop.



Ryc. 2.

Fig. 2.

Ryc. 2. Zależność między ciśnieniem bocznym p i naprężeniem osiowym σ_1 .

$\Delta = \sigma_1 - p$ – naprężenie różnicowe. OAB – ścieżka obciążen próbki.

Fig. 2. Relation between lateral pressure p and axial stress σ_1 .

$\Delta = \sigma_1 - p$ – differential stress. OAB – track of loading of sample.

Badania w trójosiowym stanie naprężeń ściskających należą do mało rozpowszechnionych w kraju. Przeprowadzono je w specjalnym urządzeniu GTA 10 opisanym przez M. Długosza et al. (2). Polegały one na tym, że w pierwszej fazie próbki wapieni obciążano hydrostatycznie do dowolnego ciśnienia zwanego bocznym od 0 do 300 MPa, a następnie przy utrzymywaniu tego ciśnienia obciążano je osiowo. W wyniku eksperymentu część próbek przy niskich ciśnieniach została zniszczona krucho, natomiast większość z nich zdeformowana plastycznie. Walcowate próbki uległy znacznemu osiowemu skurczeniu, przybierając kształt beczkowaty. Równocześnie z obciążeniem osiowym rejestrowano odkształcenia podłużne próbki. Badania te pozwoliły określić rodzaj i wielkość deformacji wyrażonej zmianą objętości, granicę liniowej zależności między naprężeniem a odkształceniem podłużnym oraz wytrzymałości w trójosiowym stanie naprężenia. Wyniki tych badań przedstawiono dla każdej odmiany wapienia w formie kilku wykresów zależności między osiowym naprężeniem różnicowym a różnicowym odkształceniem podłużnym. Wykresy te informują o całej historii obciążania próbek aż do ich zniszczenia. Ponadto uzyskane wyniki zilustrowano obwiedniami granicznych kół Mohra, które charakteryzują granicę liniowości i wytrzymałości wapieni.

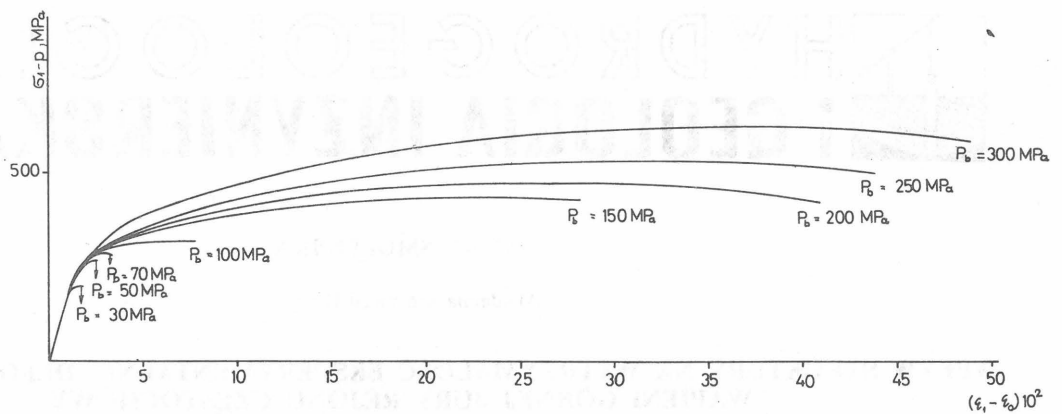
W celu przypomnienia pewnych określeń, użytych powyżej i w dalszej części artykułu, podano ich definicje.

Naprężenie różnicowe jest to wartość naprężenia występująca powyżej ciśnienia hydrostatycznego (ryc. 2).

Odształcenie różnicowe jest to odkształcenie liniowe zachodzące powyżej odkształcenia wynikającego ze zmiany objętości wywołanej ciśnieniem hydrostatycznym, czyli częścią ścieżki OA (ryc. 2). Inaczej odkształcenie różnicowe jest to odkształcenie odpowiadające naprężeniu różnicowemu.

Przez granicę wytrzymałości rozumie się maksymalną wartość naprężenia, po osiągnięciu której skała natychmiast pęka lub deformuje się w sposób nieograniczony bez dalszego przyrostu naprężenia.

Umocnienie materiału jest to zjawisko zachodzące w fazie jego ciągłych odkształceń. Polega ono na tym, że spowodowanie przyrostu trwałego odkształcenia wymaga przyrostu naprężenia.



Ryc. 3. Krzywe zależności naprężenia od odkształcenia w wapieniu mikrytowym z Latosówki.

Fig. 3. Curves of dependence of stress on deformation for micritic limestone from Latosówka locality.

Tabela I
MODUŁ ODKSZTAŁCENIA
I GRANICE WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCISKANIE
GÓRNOJURAJSKICH WAPIENI DEFORMOWANYCH
W JEDNOOSIOWYM STANIE NAPRĘŻENIA

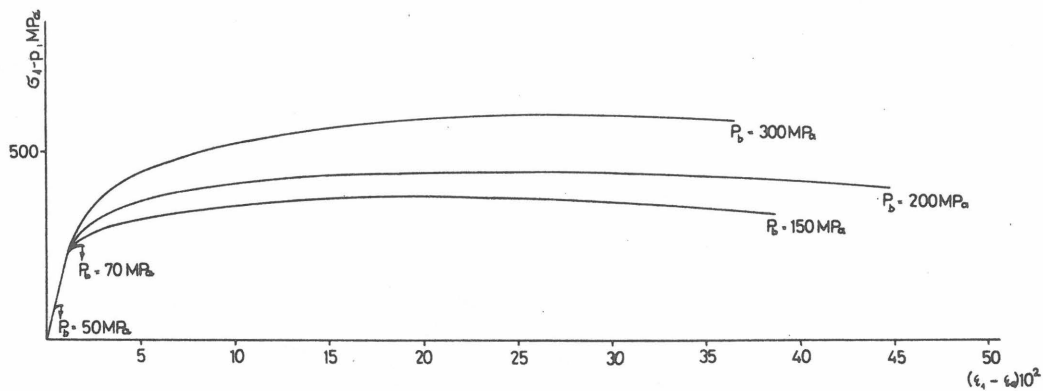
Wapień (złoże)	Szybkość odkształcenia m/sec	Moduł odkształcenia GPa	Granica wytrzymałości na ściskanie MPa	Porowatość od \bar{x} %
mikrytowy (Latosówka)	0,002	20,0	103,5	10,7–15,9 12,7
	0,02	20,8	105,0	
	0,2	50,0	106,0	
	2,0	128,0	191,0	
ziarnisty (Jaskrów)	0,02	8,2	69,9	2,6–4,8 3,6
	0,2	9,1	93,6	
	2,0	9,3	113,8	
gruzełkowy z tuberoidami (Złota Góra)	0,002	4,6	47,5	18,5–24,8 21,0
	0,02	6,9	54,8	
	0,2	7,7	64,3	
	2,0	8,7	92,3	

Moduł odkształcenia podłużnego jest to nachylenie krzywej przedstawiającej zależność między naprężeniem różnicowym a odkształceniem różnicowym. W granicach prostoliniowej zależności moduł jest stały. Jeśli zależność określona jest liniowo-sprężystym zachowaniem skały, to wówczas moduł nazywa się modułem Younga. Powyżej granicy liniowości dla skały w fazie ciągłych deformacji nachylenie krzywej określa się modułem umocnienia.

CHARAKTERYSTYKA WAPIENI

Wapień mikrytowy średnio zlyfikowane są o przełamie płaskomuszlowym i barwie kremowobeżowej. W badaniach mikroskopowych wykazują dużą jednorodność pod względem wielkości ziarn, co powoduje zlewny charakter przełamu. W wapieniu tym obserwowane są pory, o różnych rozmiarach i bardzo nieregularnych kształtach.

Wapień gruzełkowy z tuberoidami są o słabym stopniu lityfikacji. Przełam ich jest ziemisty, nierówny i brudzący. W tle wapienia obserwuje się liczne gąbki i tuberoidy. Te ostatnie widoczne są w postaci różnej wielkości struktur gruzłowatych. Spowodowane są one obecnością zwapniałych ciał gąbek, którym towarzyszą struktury powstałe w wyniku działalności życiowej sinic. Na świeżym przełamie wszystkie gruzłowate formy są barwy kremowej i odznaczają się silniejszą lityfikacją od tła, które jest białe.



Ryc. 4. Krzywe zależności naprężenia od odkształcenia w wapieniu ziarnistym z Jaskrowa.

Fig. 4. Curves of dependence of stress on deformation for grainly limestone from Jaskrow locality.

Tabela II
GRANICA LINIOWOŚCI PODŁUŻNEJ
I WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCISKANIE
GÓRNOJURAJSKICH WAPIENI
EKSPERYMENTALNIE DEFORMOWANYCH
W JEDNOOSIOWYM I TRÓJOSIOWYM
STANIE NAPRĘŻENIA

Wapień (złoże)	Ciśnienie boczne MPa	Granica liniowości podłużnej MPa	Granica wytrzymałości na ściskanie MPa	Deformacja próbek %
mikrytowy (Latosówka)	0	90	105	23-38
	30	120	200	
	50	160	270	
	70	170	290	
	100	200	320	
	150	200	430	
	200	150	480	
	300	130	530	
ziarnisty (Jaskrow)	0	70	70	20-28
	50	80	90	
	70	120	250	
	150	120	380	
	200	110	450	
	300	110	600	
gruzelkowy z tuberoidami (Złota Góra)	0	55	55	38-54
	15	60	90	
	50	130	620	
	100	140	940	
	200	120	1530	
	250	110	1690	

kredowate. Badania mikroskopowe pozwoliły stwierdzić, że tło tych wapieni wykazuje zróżnicowaną strukturę.

Wielkość ziarn kalcytu budującego tło zmienia się w przedziale od 0,002 do 2 mm. Pozwala to zgodnie z klasyfikacją M.W. Leightona i C. Pendextera (6) wyróżnić w nim mikryt o wielkości ziarn do 0,03 mm i sparyt o średnicach większych. Sparytowy kalcyt buduje zwykle agregaty, rzadziej występuje w formie pojedynczych ziarn, które swym kształtem dostosowują się do wolnych przestrzeni. Zawartość takiego sparytu wynosi ok. 10%, gdy mikrytu ok. 20%. W tak wykształconym tle tkwią ziarna nieskieletowe, których pochodzenie związane jest z działalnością sinic. Do najczęściej spotykanych należą gruzelki, grudki oraz onkoidy właściwe, natomiast otoczki i naskorupienia pojawiają się rzadko.

Wapień ziarnisty są silnie zlifyfikowane o przełamie ziemistym, lekko zadzirowym i o barwie kremowobezowej. Charakteryzują się obecnością ziarn, które w sto-

sunku do tła są silniej zlifyfikowane i odznaczają się nieco ciemniejszym odcieniem barwy. Wśród ziarn wyróżniono intraklasty oraz gruzelki, grudki i onkoidy stwierdzone obserwacjami mikroskopowymi. Wymienione powyżej ziarna tkwią w spoiwie sparytowych, rzadziej mikrytowych.

ZACHOWANIE SIĘ WAPIENI W JEDNOOSIOWYM STANIE NAPRĘŻEN ŚCISKAJĄCYCH

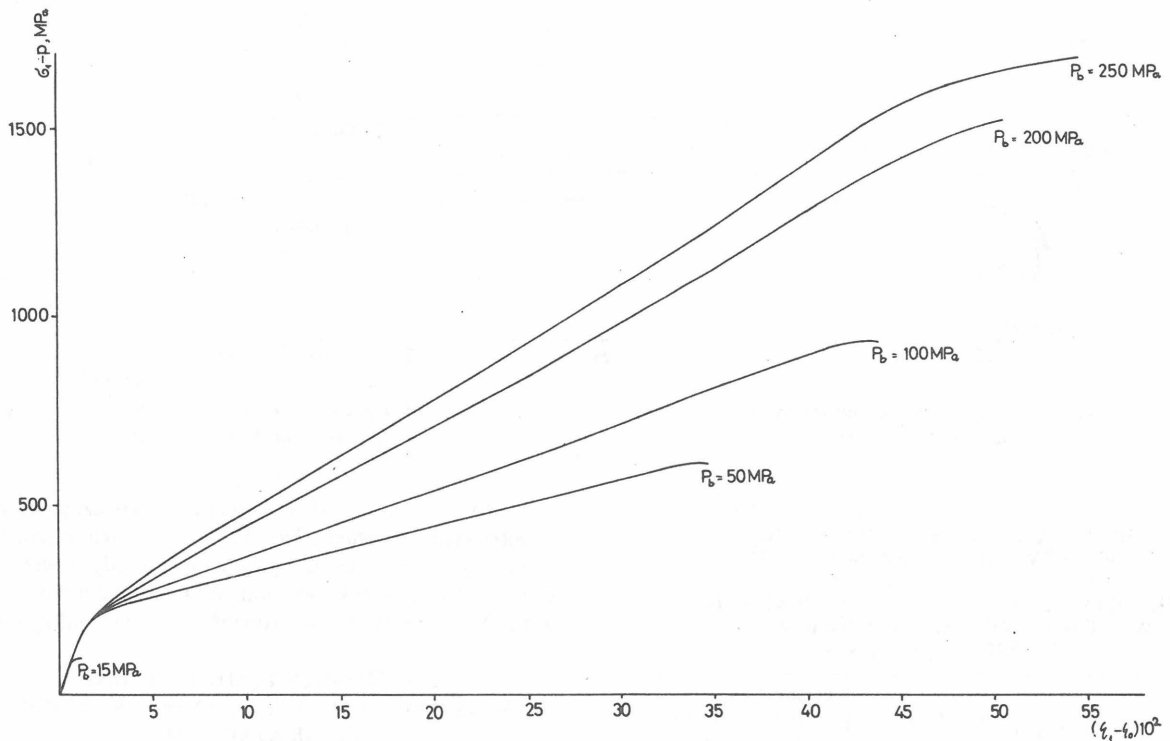
Wapień mikrytowy, gruzelkowy z tuberoidami i ziarniste poddano jednoosiowemu ścisnaniu. W badaniach stwierdzono, że wszystkie wapień wykazują przy rosnącej szybkości obciążania wzrost wytrzymałości na ściskanie. Jednocześnie zmniejsza się ich odkształcenie (tab. I). Szybkość obciążania wyrażona jest jako szybkość odkształcenia podłużnego.

Wapień mikrytowy, jednorodny pod względem wielkości ziarn, odznaczają się największą wytrzymałością wśród pozostałych wapieni obciążanych przy jednakowej prędkości. Pomimo iż porowatość ich wynosi średnio 12,7%, to jednak są one najbardziej odporne na odkształcenia, bowiem moduł przy szybkości 2 mm/sec jest najwyższy, wynosząc 128 GPa (tab. I).

Wapień gruzelkowy z tuberoidami są o słabym stopniu lityfikacji i wysokiej porowatości wynoszącej średnio 21%. Charakteryzują się one wśród omawianych wapieni najniższą wytrzymałością. Przy szybkości obciążania 2 mm/sec wynosi ona 92,3 MPa. Ponadto odznaczają się najniższym modułem odkształcenia 8,7 GPa, z którego wynika ich najłatwiejsze odkształcenie się (tab. I). Na taką właściwość ma niewątpliwie wpływ struktura omawianego wapienia. Nierównomierna lityfikacja wapienia (słabiej zlifyfikowane tło, a silniej tuberoidy) wpływa na obniżenie jego granicy wytrzymałości.

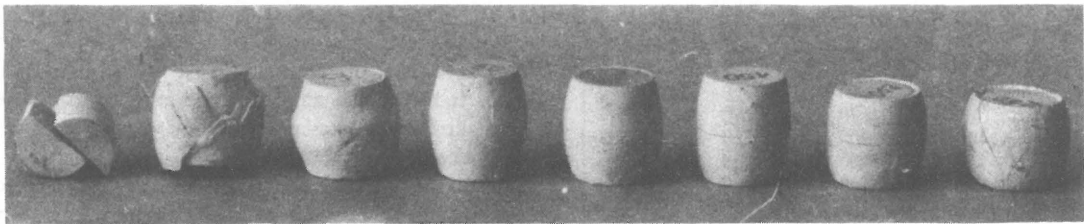
Wapień ziarnisty wykazują stosunkowo dużą, lecz w porównaniu do badanych wapieni pośrednią wartość wytrzymałości. Przy szybkości obciążania 2 mm/sec wynosi ona 113,8 MPa. Na dużą ich wytrzymałość ma wpływ niewątpliwie struktura samych ziarn, spoiwo oraz niska porowatość wapienia. Wszystkie ziarna wykazują wysoki stopień lityfikacji, a spoiwem jest przeważnie sparyt wypełniający pory. Stąd średnia porowatość wynosi tylko 3,6%. Wytrzymałość opisywanych wapieni jest jednak niższa od stwierdzonej w wapieniach mikrytowych. Przyczyną tego jest najprawdopodobniej wielkość ziarn, która w wapieniu ziarnistym jest najbardziej zróżnicowana.

Powyższe badania pozwoliły stwierdzić, że wzrost wytrzymałości w jednoosiowym stanie naprężenia przy jednakowej szybkości obciążania uzależniony jest od struk-



Ryc. 5. Krzywe zależności naprężenia od odkształcenia w wapieniu gruzelkowym z tuberoidami ze Złotej Góry.

Fig. 5. Curves of dependence of stress on deformation for lumpy limestone with tuberoles from Złota Góra locality.



Ryc. 6. Trwale zdeformowane próbki wapieni gruzelkowych z tuberoidami ze Złotej Góry przy różnych ciśnieniach bocznych.

Fig. 6. Samples of lumpy limestones with tuberoles from the Złota Góra locality, permanently deformed under varying lateral pressures.

tury wapienia w ten sposób, że im mniejsze są maksymalne ziarna w wapieniach, tym większa jest ich wytrzymałość.

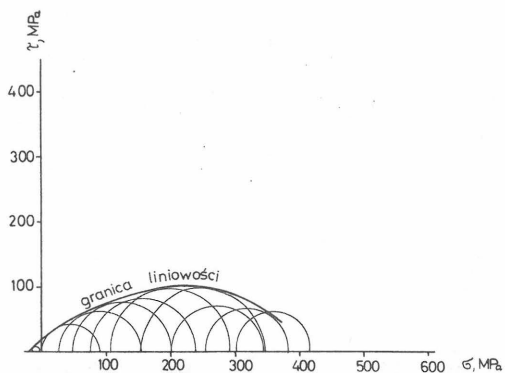
ZACHOWANIE SIĘ WAPIENI W TRÓJOSIOWYM STANIE NAPRĘŻEŃ ŚCISKAJĄCYCH

Badania w trójosiowym stanie naprężeń ściskających charakteryzują się wpływem zmieniającego się ciśnienia bocznego od 0 do 300 MPa na wytrzymałość wapieni. Dla każdego z przyjętych ciśnień, utrzymywanego podczas eksperymentu jako stałe, określano zależność między naprężeniem różnicowym i odpowiednim odkształceniem różnicowym. Z przedstawionych wykresów wynika, że w miarę rosnącego ciśnienia podwyższa się granica wytrzymałości wapieni (tab. II) oraz rosną deformacje poprzedzające granicę wytrzymałości. Charakter deformacji odczytywany jest z nachylenia krzywych (ryc. 3, 4, 5). Jest on uzależniony przede wszystkim od struktury wapieni i wielkości ciśnienia bocznego. Deformacja ciągliwa, charakterystyczna dla tego stanu naprężeń, pojawia się już w niższych ciśnieniach w wapieniach słabiej zlitfikowanych o strukturze niejednorodnej, a więc w wapieniach gruzelkowych z tuberoidami. Deformacje te odznaczają się pomniejszeniem próbki w stosunku do jej wysokości kosztem powiększenia jej średnicy. Wynikiem tego jest zmiana kształtu próbek z walcowatych na beczkowate (ryc. 6).

Wykresy zależności naprężenia od odkształcenia sporządzone w wyniku badań wapieni charakteryzują się w początkowej ich części prostoliniowością, której górna wartość określa granicę liniowości. Wielkość jej uzależniona jest od struktury wapienia, porowatości oraz od ciśnienia. Podwyższając ciśnienie obserwuje się w wapieniach mikrytowych i ziarnistych początkowy wzrost, a potem spadek granicy liniowości (ryc. 3, 4). Natomiast w wapieniu gruzelkowym z tuberoidami w zakresie zadawanych ciśnień granica liniowości utrzymuje się prawie na równym poziomie (ryc. 5). W tym wapieniu porowatość odbiega znacznie od pozostałych i jest najwyższa, wynosząc średnio 21% (tab. I).

W wapieniach mikrytowych poczynając od ciśnienia ok. 100 MPa pojawiają się deformacje ciągliwe (ryc. 4). Poniżej tego ciśnienia omawiany wapień wykazuje kruche zachowanie, bowiem rozpada się zaraz po przekroczeniu granicy liniowości. Powyżej ciśnienia 100 MPa wykazuje natomiast regularną deformację ciągliwą z umocnieniem, którego moduł rośnie w miarę wzrostu ciśnienia. Deformacje tego wapienia, przy których osiąga on granicę wytrzymałości, są najniższe. Przy ciśnieniu 150 MPa wynoszą 23% i odpowiednio rosną do 38% (tab. II).

Wapień ziarniste charakteryzują się podobnym zachowaniem pod wpływem działającego ciśnienia hydrostatycznego. Doznają one deformacji ciągliwych również na poziomie ciśnienia 100 MPa (ryc. 4). Przy wyższych ciśnieniach poczynając od 150 MPa deformacje wapie-



Ryc. 7. Obwiednia Mohra dla granicy liniowości podłużnej i wytrzymałości w wapieniu mikrytowym z Latosówki.

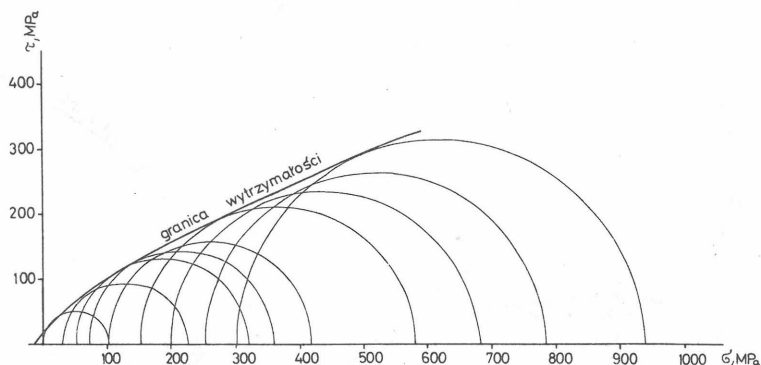
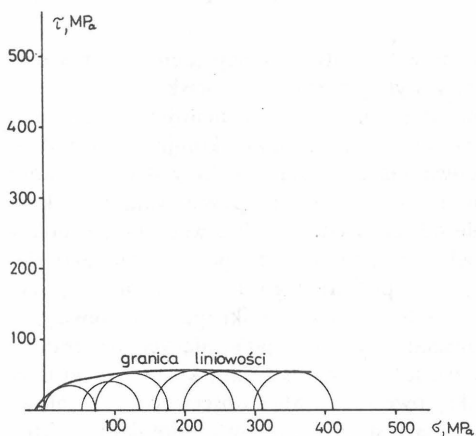


Fig. 7. Mohr envelope for boundary of longitudinal lineation and strength for micritic limestone from the Latosówka locality.



Ryc. 8. Obwiednia Mohra dla granicy liniowości podłużnej i wytrzymałości w wapieniu ziarnistym z Jaskrowa.

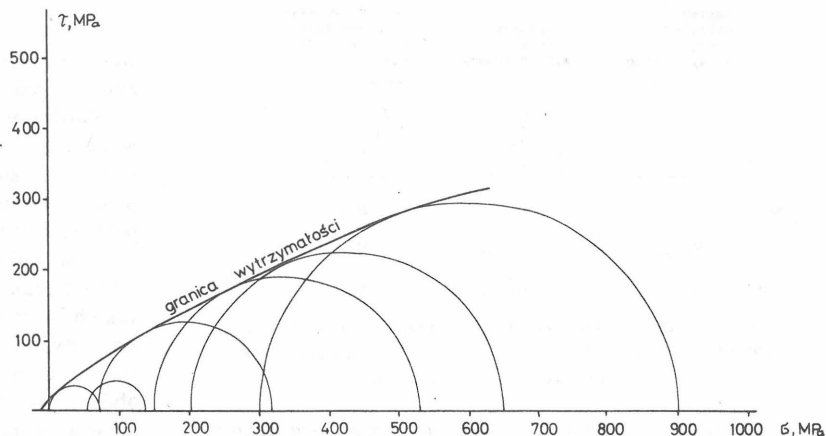


Fig. 8. Mohr envelope for boundary of longitudinal lineation and strength for grainy limestone from the Jaskrów locality.

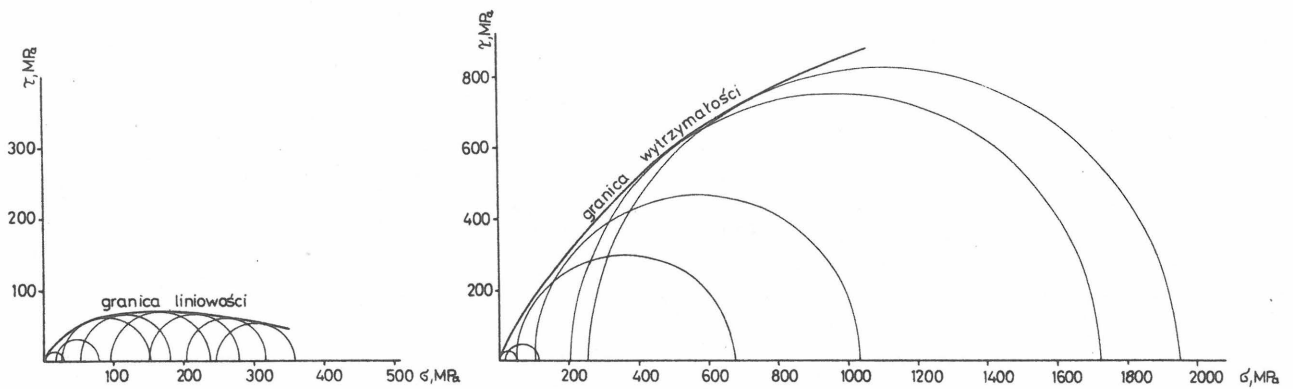
nia osiągającego granicę wytrzymałości są nieco niższe, bo od 20 do 28% (tab. II). Należy przypuszczać, że wpływ na nie ma przede wszystkim niska porowatość 3,6% (tab. I) oraz wysoki stopień lityfikacji. Po osiągnięciu granicy wytrzymałości następuje spadek krzywych, który wynika z wypierania próbki z pomiędzy tłoków prasy przy dużych odkształceniach poprzecznych i z utraty spójności materiału próbki.

Wapienie gruzełkowe z tuberoidami wykazują odmienne zachowanie od dwóch poprzednio omówionych wapieni. Rosnące ciśnienie powoduje, że krzywe, odzwierciedlające zachowanie próbek powyżej granicy liniowości, mają inny charakter. Wykazują one największą ciągłość (ryc. 5). Ponadto zachowanie to wyróżnia się wyraźnie prostoliniowym, miejscami nieco wklęsłym charakterem krzywych zależności naprężenia od odkształcenia w dużym przedziale naprężeń różnicowych. Tego typu krzywe dla wapieni niejednorodnych otrzymał również J. Bergues et al. (1). Wzrastający z odkształceniem moduł umocnienia związany jest zapewne z niejednorodną strukturą, a zwłaszcza z nierównomiernym stopniem lityfikacji wapienia. Przyczyną tego są poślizgi, które najpierw zachodzą w tle wapienia i wówczas krzywa nachyla się. Dalsze ich tworzenie się zostaje zatrzymane, bowiem natrafiają na tuberoidy, które są silniej lityfikowane od tła. One z kolei przejmują „pracę” całego wapienia. W wyniku tego rośnie moduł umocnienia.

Następna faza obciążeń poprzedzających zniszczenie próbki cechuje się znowu zmniejszeniem nachylenia krzywej. Pojawiają się zatem poślizgi w całej próbce, prowadzące już do jej zniszczenia. W wapieniu tym wyraźnie

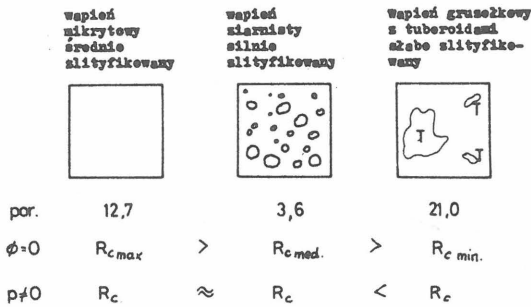
ze wzrostem ciśnienia rosną deformacje i moduł umocnienia. Deformacje próbek osiągających granicę wytrzymałości odbiegają znacznie od pozostałych wapieni i poczynając od ciśnienia bocznego 150 MPa wahają się w granicach od 38 do 54% (tab. II). Dodatkowy wpływ na taką znaczną deformację ma duża porowatość omawianych wapieni, wynosząc średnio 21% (tab. I) oraz najniższy stopień lityfikacji. Ponadto wapienie te wyróżniają się od pozostałych wartością ciśnienia, przy którym następuje przejście do fazy ciągłej. Zawiera się ono w przedziale 20–50 MPa, gdy w wapieniach mikrytowym i ziarnistym jest na poziomie 100 MPa.

Zależność naprężenia od odkształcenia najlepiej ilustrują sporządzone koła Mohra (ryc. 7, 8, 9). Dzięki nim określono zbiór stanów naprężenia, w których wapienie osiągają granicę liniowości i wytrzymałości. Obwiednie charakteryzujące wytrzymałość są stosunkowo strome przy niskich ciśnieniach bocznych i stopniowo, w miarę wzrostu ciśnienia stają się coraz bardziej położone. W przypadku wapienia mikrytowego i gruzełkowego z tuberoidami obwiednie charakteryzujące granicę liniowości początkowo wznoszą się, a poczynając od pewnego ciśnienia opadają sugerując możliwość przecięcia się z poziomą osią układu współrzędnych. Poczynając od ciśnienia hydrostatycznego, określonego punktem przecięcia, materiał znajdował się będzie w stanie ciągłym już pod działaniem tego ciśnienia (ryc. 7, 9). Natomiast wapień ziarnisty, w przypadku zadawanych ciśnień hydrostatycznych, wykazuje wspomnianą już wcześniej niezależność granicy liniowości od ciśnienia w pewnym jego przedziale (ryc. 8). Jest on w stosunku do pozostałych wapieni najmniej porowaty. na-



Ryc. 9. Obwiednia Mohra dla granicy liniowości podłużnej i wytrzymałości w wapieniu gruzelkowym z tuberoidami ze Złotej Góry.

Fig. 9. Mohr envelope for boundary of longitudinal lineation and strength for lumpy limestone with tuberoles from the Złota Góra locality.



Ryc. 10. Schemat wpływu struktury i składu wapieni na granice wytrzymałości w jednoosiowym ($p = 0$) i trójosiowym ($p \neq 0$) stanie naprężenia. T – tuberoidy.

Fig. 10. Scheme of influence of structure and composition of limestones on strength limits under uniaxial ($p = 0$) and triaxial ($p \neq 0$) stress conditions. T – tuberoles.

tomiast w wapieniach mikrytowych i gruzelkowym z tuberoidami pod działaniem ciśnienia hydrostatycznego pory ulegają na ściankach lokalnemu kruchemu niszczeniu. Wskutek tego rośnie podatność wapieni na ciśnienie hydrostatyczne.

UWAGI KOŃCOWE

Wykonane badania pozwoliły stwierdzić, że wśród wielu rozpatrywanych czynników, średnica ziarna budującego wapienie jest najważniejszym elementem struktury wpływającym na wytrzymałość skał węglanowych. Duże znaczenie ma także jednorodność ziarn, jak również porowatość wapieni. Pośredni wpływ na wytrzymałość ma natomiast stopień lityfikacji wapieni (ryc. 10). Najmniejszymi średnicami ziarn, a zarazem najbardziej jednorodnymi charakteryzują się wapienie mikrytowe, które pomimo średniej porowatości 11,6% wykazują najwyższą wytrzymałość na ściskanie w obu stanach naprężenia. Wpływ wielkości ziarna i porowatości na wytrzymałość najlepiej uwidacznia się w wapieniach ziarnistych. W nich, mimo iż średnica ziarn jest znacznie większa niż w wapieniach mikrytowych, dochodzi do stosunkowo wysokiej wytrzymałości na ściskanie. W jednoosiowym stanie naprężenia jest ona niższa od wapieni mikrytowych, lecz w trójosiowym stanie naprężenia jest do nich bardzo zbliżona. Przyczyną tego są częściowo przemiany diagenetyczne tła wpływające na silny stopień lityfikacji wapieni ziarnistych, a przede wszystkim ich niska porowatość. Niejednorodna struktura wapieni wpływająca na zróżnicowany stopień lityfikacji, jak również bardzo wysoka porowatość przyczynia się do tego, że wapienie gruzelko-

we z tuberoidami w obu stanach naprężenia charakteryzują się najniższą wytrzymałością na ściskanie.

Zaobserwowane różnice w wytrzymałości i ciągliwości wykazują wpływ struktury na mikroskopijne reakcje wywołane zróżnicowanym naprężeniem. Przy deformowaniu próbek wapieni uwydatniło się to powstawaniem mikropeknięć zależnie od ich tekstury. Obserwacji takich dokonano w mikroskopie skaningowym porównując materiał przed badaniem i po poddaniu go deformacjom przy wysokich ciśnieniach. Rozpoznanie mikropeknięć wewnątrzziarnistych, transziarnistych czy powstających na granicy ziarn jest możliwe jedynie w wapieniu, który nie posiada obfitego tła mikrytowego (5). Stąd obserwowano je głównie w wapieniach ziarnistych z Jaskrowa. Spotykane mikropeknięcia są najczęściej na granicy ziarna. Ilość ich zmniejsza się wraz ze zwiększającym się ciśnieniem, tak że już przy 100 MPa nie obserwuje się żadnych mikropeknięć na granicy ziarn. Nieznaczna część mikropeknięć jest wewnątrzziarnista, gdy transziarnistych w ogóle nie spotykano. W wapieniach mikrytowych mikropeknięć nie obserwowano, stąd też wykazują one dużą wytrzymałość na pęknięcie.

Eksperymentalne badania wapieni zróżnicowanych strukturalnie pozwoliły wykazać zmienną granicę ich wytrzymałości zależnie od ich struktury. Ma to duże znaczenie poznawcze dla oceny skał wapiennych. Możliwość określenia naprężeń występujących aż do osiągnięcia granicy wytrzymałości wapieni może wpłynąć na odpowiedni dobór surowca wapiennego do produkcji betonów, kruszyw do nawierzchni bitumicznych, a także stosowania go w drogownictwie jako podkład. Wiadomo bowiem, że elementy obiektów wykonanych ze wspomnianych surowców poddawane są nie jedno, lecz trójosiowemu stanowi naprężenia.

LITERATURA

1. Bergues J., Derlich S. et al. – Etude de quatre roches sous tres hautes pressions. Proc. 3rd ISRM Congress, Denver 1974 vol. 2 part A.
2. Długosz M., Gustkiewicz J. et al. – Aparat do badania skał w trójosiowym stanie naprężenia. Charakterystyka aparatu i metod badawczych. Cz. I. Wyniki badań niektórych skał. Cz. II. Arch. Gór. 1981 z. 1.
3. Donath F.A., Fruth L.S. – Dependence of strain – rate effects on deformation mechanism and rock type. J. Geol. 1971 nr 3.

4. Griggs D. — Deformation of rocks under high confining pressures. *Ibidem* 1936 nr 44.
Hugman R.H., Friedman M. — Effects of Texture and Mechanical Behavior of Experimentally Deformed Carbonate Rocks. *AAPG Bull.* 1979 vol. 63/9.
6. Leighton M.W., Pendexter C. — Carbonate rock types. Classification of carbonate rocks, a symposium (published by the AAPG). Tulsa 1962.

S U M M A R Y

Structural differentiation of Upper Jurassic limestones from the Latosówka, Jaskrów and Złota Góra deposits in the Częstochowa area (Fig. 1) was analysed with the use of strength tests. The differentiation was traditionally analysed in uniaxial stress state and under varying rates of loading. This method leads to brittle destruction of sample so only a single strength value is obtained. A method of strength estimations in triaxial stress state and under varying pressures belongs to less popular. However, it should be noted that such tests give full characteristics of strength to compression under varying stress state and they lead to ductile deformations of samples of limestones. The deformations are reflected by reduction in height of sample at the advantage to its diameter and, therefore, a change from its cylindrical shape to the barrel-like (Fig. 5).

The studies on limestones differing in structure made it possible to find influence of structure and texture on character of deformation in the two above stress states. The strength of limestones is primarily controlled by size and of grains and its variability. Moreover, it somewhat depends on porosity and, related to it, degree of lithification. Therefore, micritic limestones, which display both the finest and most uniform grains, appear to be characterized by the highest strength values under the two stress states. Moreover, the recorded differences in strength and ductility indicate influence of structure on microscopic reactions related to differentiated stress. This phenomenon is reflected by origin of texturally controlled microfractures in the course of deformation of sample.

Such microfractures mainly originate at boundaries of grains in grainy limestones.

Р Е З Ю М Е

Структурно неоднородные верхнеюрские известняки района Ченстоховы, из месторождений Лятосувка, Яскрв и Злота Гура (фиг. 1) были подвергнуты экспериментальным прочностным исследованиям. Они были традиционно исследованы в линейном напряженном состоянии, в результате чего при разных скоростях нагрузки был получен один результат прочности и образец подвергался хрупкому разрушению. Мало распространенным исследованием была оценка изменчивой прочности в трехосном напряженном состоянии в зависимости от разных давлений. Эти исследования состоялись в определении полной характеристики прочности на сжатие в изменчивых условиях напряжений. В результате этих исследований образцы известняков поддавались процессам вязкой деформации. Эти деформации характеризовались уменьшением высоты образцов за счёт увеличения их диаметра, так что форма образцов из цилиндрической стала бочкообразной (фиг. 6).

Исследования проводимые на структурно разных известняках позволили определить влияние структуры и текстуры на характер деформации в двух состояниях напряжений. Самое большое влияние на прочность известняков оказывают диаметры зерн, а также однородность их величины. Меньшее значение имеет пористость и связанная с ней степень литификации известняков. Микритовые известняки, которые характеризуются самыми малыми диаметрами зерн и самой большой их однородностью, выказали самую большую прочность в двух состояниях напряжений. Кроме того наблюдаемые разности прочности и вязкости выказали структуры известняков на микроскопические реакции вызванные разным напряжением. При деформации образцов это выразилось образованием микротрещин в зависимости от их текстуры. Эти микротрещины образовались прежде всего на границы зерн в зернистых известняках.